



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 93112950.8

[51] Int. Cl⁵

H01S 3/025

[43] 公开日 1994 年 10 月 19 日

[22] 申请日 93.12.20

[30] 优先权

[32] 93.4.12 [33] JP[31] 084738 / 93

[71] 申请人 三菱电机株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 永井丰 岛显洋

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商
标事务所

代理人 王以平

H01S 3/085 H01S 3/18

H01L 33/00

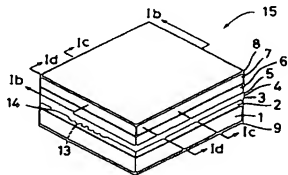
说明书页数:

附图页数:

[54] 发明名称 半导体激光器及其制作方法

[57] 摘要

一种半导体激光器包含: 第一导电型半导体衬底; 设置在衬底上的第一导电型下包层; 设置在下包层上的量子阱结构层; 设置在量子阱结构层上的第二导电型上包层; 形成在上包层上并包含沿激光器谐振腔长度方向延伸而不达到半导体激光器谐振腔两个小端面的众多第二导电型半导体的脊; 通过离子注入杂质在谐振腔两个小端面附近量子阱结构层的窗口结构中形成无序化区; 以及设置在上包层上的第一导电型电流阻挡层。



权 利 要 求 书

1. 一种半导体激光器器件,它包含:

一个具有一个正表面和一个与上述正表面相反的背表面的第一导电型的半导体衬底;

一设置在上述半导体衬底上的第一导电型的下包层;

一设置在上述下包层上并包含交替层叠的势垒层和阱层的量子阱结构层;

一设置在上述量子阱结构层上的第二导电型的上包层;

一设置在上述上包层上并包含一个长度沿上述激光器谐振腔长度方向延伸而不达到上述半导体激光器谐振腔两个小端面的条形第二导电型半导体的脊;

由引入杂质而在上述激光器谐振腔的两个小端面附近的上述量子阱结构中形成的无序化区域;

一设置在上述脊周围的所述上包层上以便掩埋该脊的第一导电型的电流阻塞层;以及

一设置在上述电流阻塞层和上述脊上的第二导电型的接触层。。

2. 如权利要求1所述的半导体激光器,其中,所述整个量子阱结构层除上述脊下面的那部分外,都被上述的引入杂质无序

化。

3. 如权利要求 1 所述的半导体激光器, 其中, 所述电流阻塞层包含一个能带隙大于上述量子阱结构层有效能带隙而折射率小于构成上述脊的半导体的折射率的材料。

4. 一种半导体激光器, 它包含:

一个具有一个正表面和一个与上述正表面相反的反表面的 n 型 GaAs 半导体衬底;

一设置在上述半导体衬底上的 n 型 $Al_xGa_{1-x}As$ 下包层;

一设置在上述下包层上并包含交替层叠的 $Al_zGa_{1-z}As$ 势垒层和 $Al_zGa_{1-z}As$ ($0 \leq z \leq y$) 阱层、其有效能带隙小于上述下包层能带隙的量子阱结构层;

一设置在上述量子阱结构层上、其能带隙大于上述量子阱结构层的上述有效能带隙的 P 型 $Al_wGa_{1-w}As$ 上包层;

一设置在上述上包层上并包含一个长度沿上述激光器谐振腔长度方向延伸而不达到上述半导体激光器两个小端面的条形 P 型 $Al_tGa_{1-t}As$ 层的脊;

设置在上述激光器谐振腔两个小端面附近的上述量子阱结构层中的由引入杂质而有序化的区域;

一设置在上述脊周围的所述上包层上以便掩埋该脊的 n 型 $Al_rGa_{1-r}As$ ($0 \leq r$) 电流阻塞层; 以及

一设置在上述电流阻塞层和上述脊上的 P 型 GaAs 接触层。

5. 如权利要求 4 所述的半导体激光器, 其中, 所述整个量子阱结构层除上述脊下面的那部分外, 都被上述离子注入无序化。

6. 如权利要求 4 所述的半导体激光器, 其中, 所述电流阻塞层包含一个 n 型 $Al_{1-r}Ga_rAs$ ($t < r$) 层。

7. 如权利要求 4 所述的半导体激光层, 其中, 所述杂质包含 Si 或者 Zn。

8. 一种半导体激光器的制作方法, 它包含;

制备一个具有一个正表面及一个与上述正表面相反的背表面的第一导电型半导体衬底;

按下列顺序在上述半导体衬底上相继外延生长一第一导电型下包层、一包括交替层叠的势垒层和阱层的量子阱结构层、一第二导电型第一上包层, 以及一个第二导电型第二上包层;

用形成在上述第二上包层上的绝缘膜作为掩模, 腐蚀上述第二上包层以便产生一个长度沿上述激光器谐振腔长度方向延伸而不达到上述半导体激光器谐振腔两个小端面的条形脊;

在上述第一上包层上将杂质离子注入到上述激光器谐振腔两个小端面附近的区域中的上述量子阱结构层中, 注入浓度要不使上述第一上包层反型, 从而使量子阱结构中离子注入过的区域无序化; 以及

在上述上包层上生长一个第一导电型的电流阻塞层以便将上述脊掩埋, 除去上述绝缘膜并在上述脊和上述电流阻塞层上生长

一个第二导电型接触层。

9. 如权利要求 8 的半导体激光器的制作方法还包含：

在上述第二导电型的第一上包层和上述第二导电型的第二上包层之间，外延生长一个第二导电型的停止腐蚀层；以及

用上述绝缘膜作为掩模将上述第二上包层选择性腐蚀到上述停止腐蚀层为止以便形成上述脊。

10. 如权利要求 8 的半导体激光器的制作方法，其中利用上述脊上的上绝缘膜作为掩模向除上述脊下面那部分之外的整个量子阱结构层进行离子注入。

11. 如权利要求 8 所述的半导体激光器的制作方法，其中，所述杂质包含 Si 或者 Zn。

12. 一种半导体激光器的制作方法，它包含：

制备一个具有一个正表面和一个与上述正表面相反的背表面的半导体衬底；

按下列顺序在上述半导体衬底上相继外延生长一 n 型 $Al_xGa_{1-x}As$ 下包层、一个包括交替层叠的 $Al_yGa_{1-y}As$ 势垒层和 $Al_zGa_{1-z}As$ ($0 \leq z \leq y$) 阱层的量子阱结构层；一能带隙大于上述量子阱结构层有效能带隙的 P 型 $Al_wGa_{1-w}As$ 第一上包层，以及一 P 型 $Al_tGa_{1-t}As$ 第二上包层；

用形成在上述第二上包层上的绝缘膜图形作为掩模，腐蚀上述第二上包层到一预定的深度以便形成一个长度沿激光器谐振腔

长度方向延伸而不达到上述半导体激光器谐振腔两个小端面的条形脊；

在上述第一上包层上将杂质离子注入到激光器谐振腔两个小端面附近的区域的上述量子阱结构层中，注入浓度要不使上述第一上包层反型，从而使量子阱结构中离子注入过的上述区域无序化；以及

在上述第一上包层的上述脊的周围生长一 n 型 $Al_xGa_{1-x}As$ ($0 \leq x < r$) 电流阻塞层以便掩埋上述脊，除去所述绝缘膜并在所述脊和所述电流阻塞层上生长一 P 型 $GaAs$ 接触层。

13. 如权利要求 12 所述的半导体激光器的制作方法，还包含：

在上述 P 型 $Al_wGa_{1-w}As$ 第一上包层和上述 P 型 $Al_tGa_{1-t}As$ 第二上包层之间外延生长一 P 型 $Al_qGa_{1-q}As$ ($t < q$) 停止腐蚀层；以及

用上述绝缘膜图形作为掩模将上述第二上包层选择性腐蚀到上述停止腐蚀层为止以便形成上述脊。

14. 如权利要求 13 所述的半导体激光器的制作方法，其中，用酒石酸和过氧化氢的混合液腐蚀所述第二上包层。

15. 如权利要求 12 所述的半导体激光器的制作方法，其中，利用上述脊上形成的上述绝缘膜图形作为掩模向除上述脊下面那部分之外的上述整个量子阱结构层进行所述离子注入。

16. 如权利要求 12 所述的半导体激光器的制作方法，其中，

所述电流阻塞层是用选择性生长— n 型 $Al_rGa_{1-r}As$ ($t < r$) 层的方法形成的。

17. 如权利要求 12 所述的半导体激光器的制作方法, 其中, 所述离子注入是用 Si 或者 Zn 作为杂质进行的。

18. 如权利要求 12 所述的半导体激光器的制作方法, 其中, Si_3N_4 或者 SiO_2 被用作上述绝缘膜。

说明书

半导体激光器及其制作方法

本发明涉及一种半导体激光器及其制作方法,更确地说是一种在激光器小端面处具有窗口结构并能在高的光输出下运行的激光器。

图 7(a)是说明具有窗口结构的现有技术半导体激光器的透视图,图 7(b)、7(c)和 7(d)分别是图 7(a)半导体激光器沿 VIIb-VIIb、VIIc-VIIc 和 VIId-VIId 线的剖面图。在这些图中,参考号 100 表示一个半导体激光器,其沿激光谐振腔长度方向的长度为 300—600 μm ,而沿激光谐振腔宽度方向的宽度大约为 300 μm 。参考号 101 表示 n 型 GaAs 衬底而参考号 102 表示 n 型 $\text{Al}_{x2}\text{Ga}_{1-x2}\text{As}$ (Al 的组分比; $x2=0.5$)下包层,其厚度为 1.5 到 2 μm 。参考号 103 表示量子阱层结构,它包括一个由三个厚度各为约 80 \AA 的 $\text{Al}_{y2}\text{Ga}_{1-y2}\text{As}$ (Al 的组分比; $y2=0.05$)阱层(未绘出)及二个厚度各为 50 到 80 \AA 的 $\text{Al}_{z2}\text{Ga}_{1-z2}\text{As}$ (Al 的组分比; $z2=0.3$ 到 0.35)势垒层(未绘出)彼此交替层叠成的三重结构,以及二个厚度各为 0.2 到 0.3 μm 的势垒层,它们分别位于量子阱层 103 顶部和底部将三重结构夹在中间。参考号 104 表示一个厚度为 0.2 到 0.3 μm 的 P 型 $\text{Al}_{w2}\text{Ga}_{1-w2}\text{As}$ 第一上包层(Al 的组分比; $w2=0.5$)。参考号 105 表示一个厚度约为

200Å的 P 型 $Al_{q_2}Ga_{1-q_2}As$ (Al 的组份比: $q_2=0.7$) 停止腐蚀层。参考号 110 表示一个厚度为 0.8 到 $1.3\mu m$ 的 P 型 $Al_{t_2}Ga_{1-t_2}As$ (Al 的组份比: $t_2=0.5$) 第二上包层。参考号 111 表示厚度约为 $0.7\mu m$ 的 P 型 $GaAs$ 第一接触层。参考号 106 表示厚度为 1.0 到 $2\mu m$ 的 n 型 $GaAs$ 电流阻塞层。参考号 107 表示厚度为 2 到 $3\mu m$ 的 P 型 $GaAs$ 第二接触层。108 和 109 分别表示 P 侧电极和 n 侧电极。112 表示倒梯形形状的脊, 其 n 侧电极这边沿激光谐振腔宽度方向的宽度约为 $4\mu m$ 而 P 侧电极这边沿激光谐振腔宽度方向的宽度约为 5 至 $6\mu m$ 。113 表示把 Zn 扩散进入的区域。114 表示量子阱层结构 103 中被 Zn 无序化的区域, 其沿谐振腔宽度方向的宽度约为 $50\mu m$ 。

图 8(a) 到 8(d) 是说明制作具有窗口结构的现有技术半导体激光器的工艺步骤透视图。在该图中与图 7(a) 到 7(d) 相同的参考号表示相同或相当的组成部分。参考号 121 表示第一绝缘膜, 120 表示制作脊用的第二绝缘膜。125 表示 Zn 扩散。

这种半导体激光器的制作方法描述如下。如图 8(a) 所示, 首先在半导体的衬底 101 上按顺序相继外延生长一包层 102、一量子阱层结构 103、一第一包层 104、一停止腐蚀层 105、一第二包层 110 以及一第一接触层 111。然后在第一接触层 111 上形成一第一光刻胶 121。将第一光刻胶 121 光刻制出图形以便在激光谐振腔的两个小端面附近产生窗口, 再如图 8(b) 所示利用已形成图形的光刻胶 121 作为掩模向将成为谐振腔两个小端面的区域进行 Zn 扩散 125。 Zn

扩散浓度为 1×10^{19} 到 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 。接着将片子退火以便使量子阱结构层无序化。量子阱结构层的无序化也可以不在此时使用退火方法进行,而是在 Zn 扩散之后的稍后的工艺步骤中借助晶体生长产生的热来进行。然后如图 8(c) 所示,将第一光刻胶 121 除去后,用第二光刻胶 120 作为掩模,将第一接触层 111 和第二包层 110 刻蚀成条状直至腐蚀到停止腐蚀层 105 的表面为止,以形成脊 112。接着如图 8(d) 所示,在脊 112 两侧的停止腐蚀层 105 上选择性生长一个电流阻塞层 106 以便将脊 112 掩埋起来,再将第二光刻胶 120 除去。之后,在脊 112 及电流阻塞层 106 上相继形成一个第二接触层 107 和一个 P 侧电极 108,而在半导体衬底 101 的背面形成一个 n 侧电极 109,从而完成图 7(a) 所示的半导体激光器 100。

该半导体激光器运行如下。当电压加到半导体激光器 100 使其 P 侧电极 108 为正而 n 侧电极 109 为负时,空穴通过 P 型 GaAs 第二接触层 107、P 型 GaAs 第一接触层 111、P 型 $\text{Al}_{t2}\text{Ga}_{1-t2}\text{As}$ ($t2=0.5$) 第二包层 110 以及 P 型 $\text{Al}_{w2}\text{Ga}_{1-w2}\text{As}$ ($w2=0.5$) 第一包层 104 被注入到量子阱层结构 103 中,同时电子通过 n 型 GaAs 衬底 101 和 n 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.5$) 包层 102 被注入到量子阱层结构 103 中。然后,电子和空穴在量子阱层结构 103 中进行复合从而产生光发射。当注入载流子数大到足以产生大于波导光程损耗的光强时,就出现激光振荡。

以下描述脊的结构。在如图 7(a) 所示具有脊形结构的半导体激

光器 100 中, 在由 n 型 GaAs 电流阻塞层 106 而不是由条形脊部分 112 所覆盖的区域内, 在 P 型 AlGaAs 第一包层 104 和 n 型 GaAs 电流阻塞层 106 之间以及 P 型 GaAs 第二接触层 107 和 n 型 GaAs 电流阻塞层 106 之间形成两个 $P-n$ 结。因此, 即使外加电压使 P 侧电极 108 为正, 脊区 112 之外的区域由于 $p-n-p$ 结形成反偏置也没有电流流过。换言之, n 型 GaAs 电流阻塞层 106 确实起到了阻塞电流的作用。因此电流只流过脊形区 112 并且集中在量子阱层结构 103 中靠近脊的区域中, 使电流密度高到足以形成激光振荡。而且, 由于 GaAs 的能带隙根据量子化效应被设计成小于量子阱层结构 103 的有效能带隙, n 型 GaAs 电流阻塞层 106 对量子阱层结构 103 中发射的激光具有吸收的特性。因此, 激光在脊区 112 的两边受到强的吸收而只集中到脊区 112 的附近。从而获得具有稳定单峰状水平横模的激光, 这一模式在半导体激光器运行特性中是重要的。

其次描述一下窗口结构。发射通常用作诸如袖珍唱片那样的光盘器件光源的 $0.8\mu m$ 波长激光的 AlGaAs 系列半导体激光器中, 最大光输出是由出现激光器谐振腔小端面毁坏时的光输出决定的。这是因为激光器谐振腔小端面的毁坏是由于小端面区表面能级吸收激光而产生的热使激光器有源层的晶体本身熔化而引起的, 而当激光器谐振腔小端面出现毁坏时, 谐振腔的作用就不存在了。因此, 为实现高光输出运行, 要求如下设计, 即使在高光输出时也不引起谐振腔小端面毁坏。为此, 使激光难以在小端面区被吸收的结构, 亦即一种

在激光器谐振腔小端面区形成一个对激光“透明”的窗口结构,是极为有效的。如此形成这一窗口结构,以致于使激光谐振腔小端面附近区域的能带隙大于发射激光的有源区的能带隙。在图 7(a)所示的半导体激光器 100 中,其量子阱结构层 103 用作有源层,如图 8 制作方法所示,这一窗口结构是利用 Zn 扩散 125 使量子阱层结构无序化的方法来形成的。

图 9(a)是 Zn 扩散 125 引起无序化之前的量子阱层结构 103 中的 Al 组份比分布图,而图 9(b)是 Zn 扩散 125 引起无序化之后的量子阱层结构 114 中的 Al 组份比分布图。图中参考号 19a 和 19b 表示 $Al_zGa_{1-z}As$ ($0.3 \leq z \leq 0.35$) 势垒层,参考号 18 表示 $Al_yGa_{1-y}As$ ($y=0.05$) 阱层,参考号 Al_1 表示势垒层 19a 和 19b 的 Al 组份比,参考号 Al_2 表示阱层 18 的 Al 组份比而参考号 Al_3 表示量子阱层结构 103 中被无序化的区域 114 的 Al 组份比。

当诸如 Zn 或 Si 这样的杂质扩散进入量子阱层结构 103 时,构成阱层 18 和势垒层 19a 及 19b 的原子彼此混合。结果,如图 9(a)及 9(b)所示,由于阱层 18 比势垒层 19b 薄,扩散之后量子阱层结构 114 的 Al 组份比 Al_3 变为几乎等于扩散之前势垒层 19a 及 19b 的 Al 组份 Al_1 ,而量子阱层结构 103 的有效能带隙变为大约等于势垒层 19a 及 19b 的能带隙。于是,被 Zn 扩散无序化后的量子阱结构 114 的能带隙变成大于未被无序化的量子阱层结构 103 的有效能带隙,因而获得了一个对激光“透明”的窗口结构。

腔两个小端面的条形第二导电型半导体；用引入杂质的方法在激光器谐振腔两个小端面附近的量子阱结构层中形成的无序化区域；以及在脊周围设置在上包层上以便掩埋脊的第一导电型电流阻塞层。这样，量子阱结构在激光器谐振腔小端面附近就有了一个由离子注入杂质无序化方法形成的窗口结构，而且在设置于无序化量子阱结构层上的第一上包层上设置了第一导电型电流阻塞层，以致在形成了窗口结构的区域中的电流阻塞层和衬底之间形成一个第一导电型—第二导电型—第一导电型的结，从而防止在窗口结构中产生无用电流，因而易于获得高光输出、低阈值电流和低运行电流的半导体激光器。

根据本发明的第二特征，一个半导体激光器包括：一设置在衬底上的第一导电型下包层；一设置在下包层上的量子阱结构层；一设置在量子阱结构层上的第二导电型上包层；一设置在上包层上的脊，它包含一个长度沿激光器谐振腔长度方向延伸而不达到半导体激光器谐振腔的两个小端面的条形第二导电型半导体；用引入杂质的方法在激光器谐振腔两上小端面附近的量子阱结构层中形成的无序化区域；以及第一导电型电流阻塞层，它形成在脊周围的上包层上将脊掩埋，该电流阻塞层的能带隙大于量子阱结构层的有效能带隙，它的折射率小于构成脊的半导体的折射率。这样，量子阱结构层在激光器谐振腔两个小端面附近就有了一个由离子注入杂质无序化方法形成的窗口结构，而且在设置于无序化量子阱结构层上的第一上包层

尽管具有为上述所组成的窗口结构的现有技术脊形结构半导体激光器能非常有效地防止激光器谐振腔小端面毁坏,它仍存在下述问题:

在扩散了 Zn 的激光器谐振腔小端面附近区域,杂质浓度上升,引起电阻下降,因而从电极注入的电流更容易流过这一区域,但由于在这一扩散有 Zn 的区域内不存在发射激光的量子阱结构层,流经这一区域的电流变成对激光振荡毫无贡献的无法利用的电流。于是在现有技术的具有窗口结构的半导体激光器中,这一很可能流动的无用电流就引起相当高的阈值电流和相当高的操作电流。

本发明的目的是提供一种具有防止产生无用电流的窗口结构的半导体激光器。

本发明的另一个目的是提供一种制作这种半导体激光器的方法。

根据下述详细描述,本发明的其它目的和优点将变得显而易见;但是,由于根据这一详细描述,在本发明的构思与范围内的各种变化和改进对于本技术领域内熟练技术人员来说都是显而易见的,故应该认识到这一详细描述和具体实施例仅仅是用于举例说明。

根据本发明的第一特征,一个半导体激光器包括:一设置在衬底的第一导电型下包层;一设置在下包层上量子阱结构层;一设置在量子阱结构层上的第二导电型上包层;一设置在上包层上的脊,它包含一个长度沿激光器谐振腔长度方向延伸而不达到半导体激光器谐振

上设置了第一导电型电流阻塞层，以便在形成了窗口结构的区域中的电流阻塞层和衬底之间形成一个第一导电型—第二导电型—第一导电型的结，从而防止在窗口结构中产生无用电流。此外，由于电流阻塞层的能带隙大于量子阱结构层的能带隙，电流阻塞层将不吸收量子阱结构层中产生的激光，使激光器谐振腔损耗很小。因而易于获得高光输出、低阈值电流和低运行电流的半导体激光器。

根据本发明的第三特征，半导体激光器的制作方法包括：在衬底上按下列顺序相继形成一第一导电型的下包层、一量子阱结构层、一第二导电型的第一上包层，以及一第二导电型的第二上包层；使用在第二上包层上形成的绝缘膜图形作为掩模来腐蚀第二上包层以便形成一个条形脊，其长度不达到激光器谐振腔的两个小端面；在第一上包层上向量子阱结构层中激光器谐振腔两个小端面附近的区域离子注入杂质，使用的浓度要不使第一上包层反型而使离子注入区的量子阱结构无序化，以形成窗口结构；以及在第一上包层上生长一第一导电型电流阻塞层以将脊掩埋。这样，在形成了窗口结构的每一区域中，在电流阻塞层和衬底之间就形成一个第一导电型—第二导电型—第一导电型的结，从而防止在窗口结构中产生无用电流。因此易于获得高光输出、低阈值电流和低运行电流的半导体激光器。

根据本发明的第四特征，半导体激光器的制作方法包括：在衬底上按下列顺序相继形成一第一导电型的下包层，一量子阱结构层，一

第二导电型的第一上包层,以及一个第二导电型的第二上包层;使用在第二上包层上形成的绝缘膜图形作为掩模来腐蚀第二上包层以便形成一个条形脊,其长度不达到激光器谐振腔的两个小端面;使用脊上光刻胶中形成的绝缘膜图形作为掩模,在第一上包层上向量子阱结构层中,但不向脊下面的区域,离子注入杂质,使用的浓度要不使第一上包层反型而使离子注入区的量子阱结构无序化以形成窗口结构;以及在第一上包层上生长一个第一导电型电流阻塞层以将脊掩埋。这样,在电流阻塞层和衬底之间就形成一个第一导电型—第二导电型—第一导电型的结,从而防止在窗口结构中产生无用电流。因此易于获得高光输出、低阈值电流和低运行电流的半导体激光器,而且由于表面不受光刻胶沾污,在形成电流阻塞层的选择性晶体生长过程中不会在激光器中引入缺陷。

图 1(a)和图 1(b)到 1(d)分别是依照本发明第一实施例的半导体激光器的透视图和剖面图。

图 2(a)到 2(f)是依照本发明第一实施例制作半导体激光器的工艺步骤的透视图。

图 3(a)是依照本发明第一实施例制作半导体激光器的工艺步骤的平面图,而图 3(b)及 3(c)是其剖面图。

图 4 是依照本发明的第一实施例的半导体激光器中离子注入 Si 的浓度分布图。

图 5 是依照本发明的第二实施例制作半导体激光器的方法中

离子注入工艺步骤的透视图。

图 6 是依照本发明第三实施例的半导体激光器的结构透视图。

图 7(a) 是现有技术的半导体激光器的结构透视图, 而图 7(b) 到 7(d) 是其剖面图。

图 8(a) 到 8(d) 是现有技术的半导体激光器的制作方法工艺步骤透视图。

图 9(a) 及 9(b) 是现有技术的半导体激光器的量子阱结构中 Al 组分比示意图。

实施例 1

图 1(a) 是依照本发明第一实施例的半导体激光器的透视图。图 1(b)、1(c) 和 1(d) 分别是图 1(a) 所示半导体激光器沿 $Ib-Ib$ 、 $Ic-Ic$ 和 $Id-Id$ 的剖面图。图 1(b) 示出了半导体激光器沿谐振腔长度方向的剖面, 图 1(c) 示出了半导体激光器在脊结构区域的剖面, 图 1(d) 示出了半导体激光器在窗口结构区的剖面。在这些图中, 参考号 1 表示 n 型 GaAs 半导体衬底, 参考号 2 表示厚度为 1.5 到 $2\mu m$ 的 n 型 $Al_{x1}Ga_{1-x1}As$ (Al 组分比: $x1=0.5$) 下包层, 参考号 3 表示包括一含有三个厚度各为大约 80 Å 的 $Al_{y1}Ga_{1-y1}As$ (Al 组分比: $y1=0.05$) 阱层 (未绘出) 和二一个厚度各为 50 到 80 Å 的 $Al_{z1}Ga_{1-z1}As$ (Al 组分比: $z1=0.3$ 到 0.35) 势垒层 (未绘出) 彼此交替层叠而成的三重层结构和两个位于量子阱结构层顶部和底部而将三重层夹在中间其厚度各为 0.2 到 $0.3\mu m$ 的势垒层。参考号 4 表示一个厚度为 0.2 到 0.

$3\mu\text{m}$ 的 P 型 $\text{Al}_{w1}\text{Ga}_{1-w1}\text{As}$ (Al 组分比: $w1=0.5$) 第一包层, 参考号 5 表示一个厚度约为 200\AA 的 P 型 $\text{Al}_{q1}\text{Ga}_{1-q1}\text{As}$ (Al 组分比: $q1=0.7$) 停止腐蚀层。参考号 10 表示一个厚度为 0.8 到 $1.3\mu\text{m}$ 的 P 型 $\text{Al}_{t1}\text{Ga}_{1-t1}\text{As}$ (Al 组分比: $t1=0.5$) 第二包层, 参考号 11 表示一个厚度约为 $0.7\mu\text{m}$ 的 P 型 GaAs 第一接触层, 参考号 6 表示一个厚度为 1.5 到 $2\mu\text{m}$ 的 n 型 $\text{Al}_{r1}\text{Ga}_{1-r1}\text{As}$ (Al 组分比: $r1=0$) 电流阻塞层, 参考号 7 表示一个厚度为 2 至 $3\mu\text{m}$ 的 P 型 GaAs 第二接触层, 参考号 8 表示 P 侧电极, 参考号 9 表示 n 侧电极。参考号 12 表示一个倒梯形的脊, 其 n 侧电极 9 一侧沿谐振腔宽度方向的宽度约为 $4\mu\text{m}$ 而在 P 侧电极 8 那一侧沿谐振腔宽度方向的宽度为 5 到 $6\mu\text{m}$ 。参考号 15 表示一个沿谐振腔长度方向的长度为 300 到 $600\mu\text{m}$ 而沿谐振腔宽度方向的宽度约为 $300\mu\text{m}$ 的半导体激光器芯片。参考号 13 表示 Si 离子注入区, 参考号 14 表示量子阱结构 3 中其量子阱结构被 Si 离子注入无序化了的区域, 此区域沿谐振腔宽度方向的宽度约为 $50\mu\text{m}$ 。

图 2(a) 到 2(f) 是说明本发明第一实施例的制作半导体激光器芯片方法的透视图。在这些图中, 与图 1(a) 到 1(d) 中相同的参考号表示相同的或相当的组成部分。参考号 20 表示一层绝缘膜, 参考号 21 表示光刻胶, 参考号 22 表示窗口。

以下对照图 2(a) 到 2(f) 描述一下半导体激光器的制作方法。如图 2(a) 所示, 在 n 型 GaAs 衬底 1 上按顺序相继外延生长下包层 2 的

一个量子阱层结构 3, 第一上包层 4, 停止腐蚀层 5, 第二上包层 10, 以及第一接触层 11。在片子的整个表面上形成一绝缘膜 20。 Si_3N_4 、 SiO_2 或类似物质被用作绝缘膜材料。然后如图 2(b) 所示, 将绝缘膜 20 图形化为沿谐振腔宽度方向的宽度约为 $8\mu\text{m}$ 而同半导体激光器谐振腔小端面保持约 $20\mu\text{m}$ 距离的条形。

绝缘 20 在脊腐蚀过程中起掩膜作用。如图 2(c) 所示, 腐蚀在片子整个表面上进行, 用绝缘膜 20 作为掩模以形成脊形结构。在腐蚀中使用一种能腐蚀 P 型 GaAs 第一接触层 11 和 P 型 $\text{Al}_{1-t}\text{Ga}_t\text{As}$ ($t=0.5$) 第二包层 10 但不腐蚀 P 型 $\text{Al}_{1-q}\text{Ga}_q\text{As}$ ($q=0.7$) 停止腐蚀层 5 的选择性腐蚀剂, 以便重复性良好地形成脊 12。给出酒石酸和过氧化氢的混合液作为这种选择性腐蚀剂的例子。

脊 12 形成之后, 在片子整个表面涂覆光刻胶 21, 并如图 2(d) 所示, 用光刻方法将光刻胶 21 图形化以得到离子注入窗口 22, 每个窗口沿谐振腔宽度方向的宽度约为 $50\mu\text{m}$ 并且从激光器谐振腔小端面到脊 12 的小端面有一段距离。

如图 2(e) 所示, 将 Si 离子注入到片子中。这时光刻胶 21 覆盖的部分没有离子注入进去, Si 仅被离子注入到窗口 22 中的晶体中。此时, 仅靠离子注入并不能使量子阱层结构无序化, 而是当某些热过程引起 Si 原子扩散进入晶体时, 量子阱结构才开始被无序化。实际上, 离子注入之后片子要进行退火使 Si 原子扩散, 从而产生无序化的量子阱结构层 14, 亦即用作窗口结构的区域。换一种方法, 利用

离子注入之后晶体生长时产生的热也可以实现 Si 的扩散。然后如图 2(f) 所示, 在片子表面上选择性生长一个 n 型 $Al_{r1}Ga_{1-r1}As$ ($r1=0$) 电流阻塞层 6 以便将脊 12 掩埋起来。此时, 在脊 12 上形成的绝缘膜 20 起掩模作用, 故脊 12 上不会生长电流阻塞层 6。之后, 用湿法腐蚀或干法腐蚀将绝缘膜 20 除去, 在片子的整个表面上生长一个 P 型 $GaAs$ 第二接触层 7, 在 n 型 $GaAs$ 半导体衬底 1 的背面形成一个 n 侧电极 9, 并在 P 型 $GaAs$ 第二接触层 7 上形成一个 P 侧电极 8 以便完成图 1(a) 所示的具有窗口结构的半导体激光器芯片 15。

实际上, 许多上面所述的半导体激光器芯片是同时被制作在同一衬底上的, 图 3(a) 到 3(c) 示出了根据本发明在同一衬底上制作多个半导体激光器芯片的工艺步骤。图 3(a) 是对应于图 2(d) 所示的形成光刻胶 21 的工艺步骤的平面图。图 3(b) 是图 3(a) 半导体片子沿 IIIb—IIIb 的剖面图, 对应于图 2(e) 所示离子注入 Si 的工艺步骤。图 3(c) 是说明沿图 3(a) IIIb—IIIb 线的半导体晶片的剖面图, 对应于形成第二接触层 7 和电极 8 及 9 之后将片子解理以得到图 1(a) 所示半导体激光器芯片 15 这一工艺步骤。如图 3(c) 所示, 由于半导体芯片是用解理半导体晶片的方法来获得的, 因此相邻两个脊 12 之间沿谐振腔长度方向的间距就要足够大以避免解理时出现问题。在图 3(a) 中, 各个脊 12 的排列间距 $d1$ 约为 $40\mu m$, 窗口 22 沿谐振腔宽度方向的宽度 $W1$ 约为 $50\mu m$ 而沿谐振腔长度方向的宽度 $d2$ 被定为尽可能接近相邻两个脊之间的间距 $d1$ 。

下面描述图 2(e) 所示工艺步骤中离子注入所选取的条件。图 4 是离子注入区亦即量子阱结构层 14 中由无序化产生的用作窗口结构的区域中载流子浓度的分布图。由于 Si 离子注入是在脊 12 形成之后进行的, 故离子注入 Si 的那些层有 P 型 $Al_{q1}Ga_{1-q1}As$ ($q1=0.7$) 停止腐蚀层 5、P 型 $Al_{w1}Ga_{1-w1}As$ ($w1=0.5$) 第一包层 4, 量子阱层结构 3 和 n 型 $Al_{x1}Ga_{1-x1}As$ ($x1=0.5$) 下包层 2。

对离子注入有两个限制。首先, 为了使量子阱层结构 3 无序化, 注入的 Si 原子的数量要求足够多, 即多于 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$; 其次, 当 Si 原子在 GaAs 晶体中起 n 型杂质作用时, 要求 P 型 $Al_{w1}Ga_{1-w1}As$ ($w1=0.5$) 第一包层 4 的导电类型不能被离子注入的 Si 原子反型以防止窗口结构区 14 因第一包层 4 反转为 n 型(即与包层 2 的导电类型相同)而成为无用电流的通道。

为满足这些条件, 在下述条件下进行离子注入, 即 P 型 $Al_{w1}Ga_{1-w1}As$ ($w1=0.5$) 第一包层 4 中的空穴载流子浓度为 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$, 在离子注入的 Si 具有如图 4 所示的分布 24, 其中载流子浓度峰值 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 位于量子阱层结构 3 的中央附近, 从而 P 型 $Al_{w1}Ga_{1-w1}As$ ($w1=0.5$) 第一包层 4 不会反型为 n 型, 而利用量子阱层结构 3 的无序化形成窗口结构 14。这样, 作为实现图 4 所示分布的离子注入条件, 假设 P 型 $Al_{w1}Ga_{1-w1}As$ ($w1=0.5$) 第一包层 4 的厚度为 $0.2 \mu\text{m}$ 到 $0.3 \mu\text{m}$ (该元件的最佳厚度), 可在 150KeV 加速电压下以 $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 浓度向上述厚度的 P 型 $Al_{w1}Ga_{1-w1}As$ 第一包

层4进行离子注入。

如上所述,在具有此第一实施例的窗口结构的半导体激光器中,有可能完全防止出现成为现有技术窗口结构中的一个缺陷的无用电流流经窗口结构区域。借助将数量足以形成窗口结构的Si杂质选择性地注入到量子阱层结构3中并保持第一上包层4上不反型,就可实现这一点。于是就可获得由于窗口结构区不产生无用电流而使阈值电流和运行电流比现有技术器件更低而且具有高光输出运行的窗口结构的半导体激光器。

在第一实施例中,利用在P型 $Al_{q1}Ga_{1-q1}As$ ($q1=0.7$)停止腐蚀层5上停止腐蚀作用的选择性腐蚀剂来形成脊。但停止腐蚀层5不是必需的,利用控制腐蚀时间的非选择性腐蚀方法也可以形成脊。

在上述描述中,虽然Si被用作离子注入源,但其它任何能引起量子阱结构无序化的原子,例如Zn,都可以毫无问题地用作注入源。

第一实施例的制作方法即使用于相应的层的导电类型与第一实施例相反的半导体激光器,也能得到上述的同样结果。

实施例2

在实施例1中,光刻胶用作选择性离子注入的掩模,使离子只注入到需要形成窗口的区域。但在第一实施例制作方法中,当晶片的间隔上有象脊12这样的凸出部分时,光刻胶有可能被凸出物中断。而且,虽然晶体生长是在离子注入之后进行的,但如果晶片表面在晶体生长之前受到光刻胶的作用,则其表面会受到有机物的沾污,从而有害于

于形成在片子表面上的 n 型 $Al_{r1}Ga_{1-r1}As$ ($r1=0$) 电流阻塞层 6 的结晶质量, 使表面形貌不佳且表面凹凸不平, 或通过缺陷产生漏电流。

图 5 是根据本发明实施例 2 制作半导体激光器的工艺步骤透视图, 由此可解决上述问题。在第二实施例中, 在晶片的整个表面上进行 Si 离子注入 25, 而在用上述第一实施例的制作方法中图 2(c) 所示的腐蚀方法形成脊 12 之后不产生光刻胶膜 21。根据此法, 虽然除脊 12 之下的整个量子阱结构层 13 都被离子注入 Si 无序化成为量子阱结构层 14, 但由于量子阱结构层 13 除脊 12 之下的那部分以外都要被电流阻塞层 6 覆盖, 故在器件特性上不会出现问题。此时, 由于形成在脊 12 上的绝缘膜 20 起离子注入掩模的作用, 故脊 12 之下用作半导体激光器波导路径的量子阱层结构 3 不被无序化。

在上述第二实施例中, 由于离子注入时不使用光刻胶, 故不存在片子表面被沾污之类的问题而获得与第一实施例相同的效果。

实施例 3

在第一实施例的半导体激光器 15 中, 由于电流阻塞层 6 包含 $Al_{r1}Ga_{1-r1}As$ ($r1=0$) 而窗口结构 14 的附近又没有脊, 故通过窗口结构区 14 的激光被位于窗口结构附近的一部分电流阻塞层 6 吸收。结果, 半导体激光器 15 的腔损增加, 阈值电流也有些增加。

图 6 是根据本发明第三实施例的半导体激光器的结构透视图, 由此可解决上述问题。此第三实施例采用下述方法来实现, 即用由

选择性生长形成的 n 型 $Al_{r1}Ga_{1-r1}As$ ($r1=0.7$) 电流阻塞层 23 来代替第一实施例的电流阻塞层 6。

由于电流阻塞层 23 包含 n 型 $Al_{r1}Ga_{1-r1}As$ ($r1=0.7$) 代替 n 型 $Al_{r1}Ga_{1-r1}As$ ($r1=0$), 故电流阻塞层 23 的能带隙大于量子阱层结构 3 中发射激光的光子能量, 因而不发生由窗口结构 14 附近的电流阻塞层 23 引起的光吸收。因此, 可获得阈值电流及运行电流比第一实施例低的具有窗口结构的半导体激光器 15。

因为在此第三实施例中, 组成脊 12 的第二包层 10 的折射率大于电流阻塞层 23 的折射率, 故量子阱结构 3 中产生的激光被集中到脊 12 及其附近, 如同在一个有效折射率型激光器中一样, 从而获得稳定单峰水平横模模式, 如在第一实施例中那样, 这种模式在半导体激光器运行特性中是极为重要的。

图1 (a)

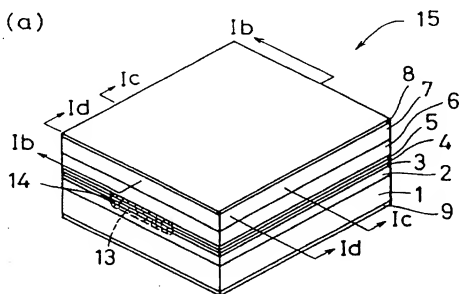


图1 (b)

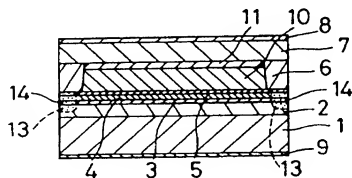


图1 (c)

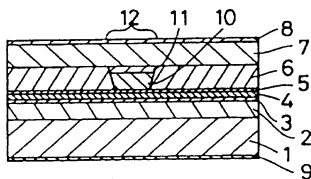


图1 (d)

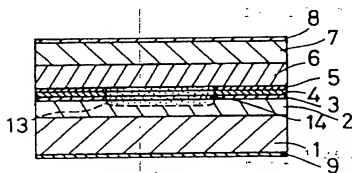


图2 (a)

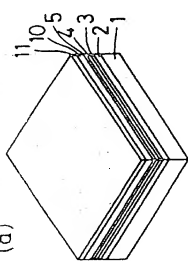


图2 (c)

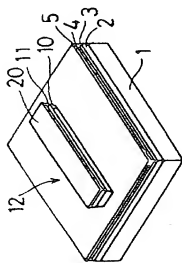


图2 (e)

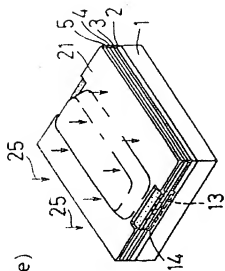


图2 (b)

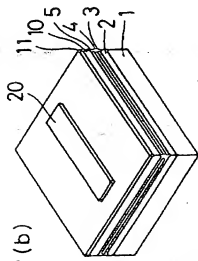


图2 (d)

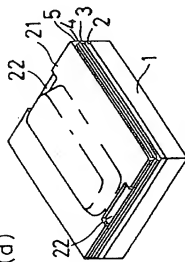


图2 (f)

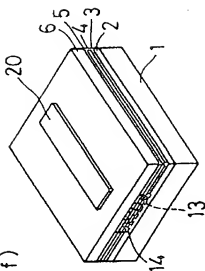


图4

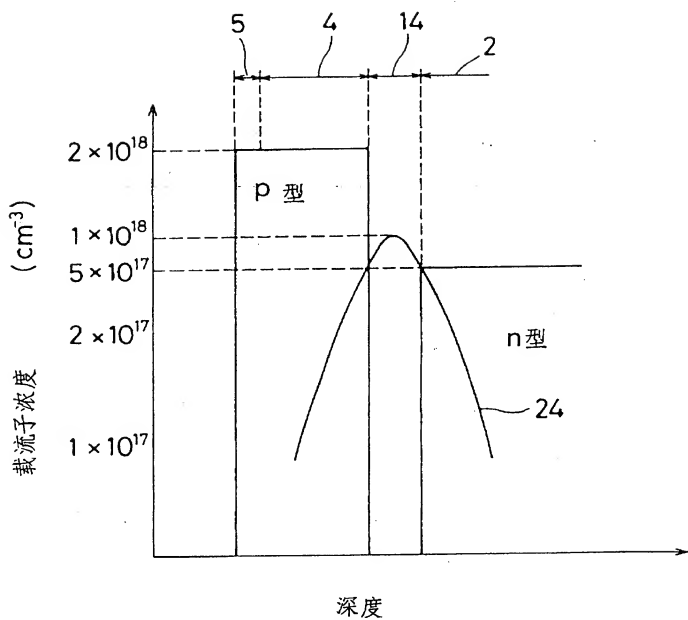


图3 (a)

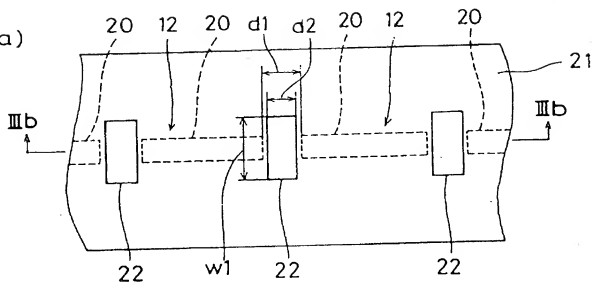


图3 (b)

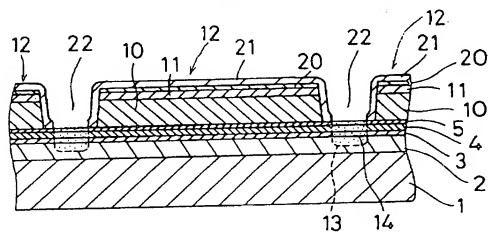


图3 (c)

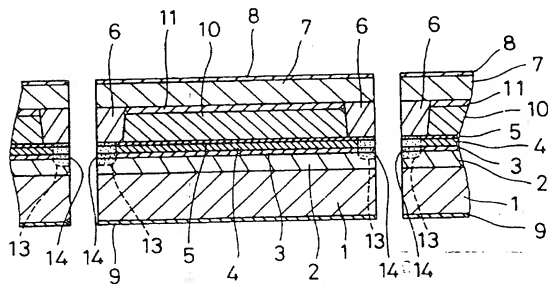


图5

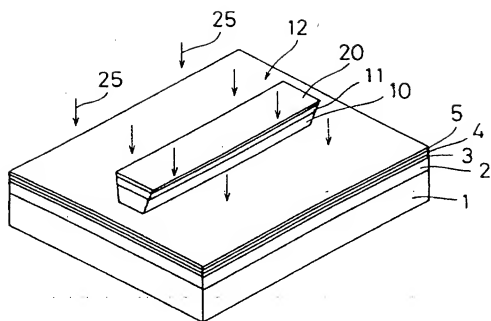


图6

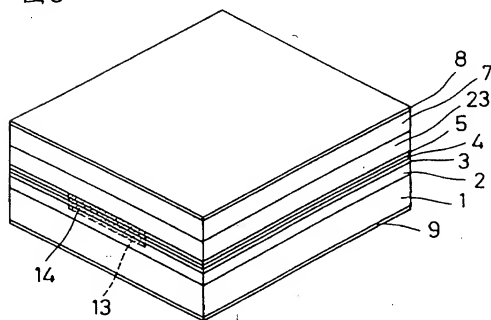


图 7 (a)

现有技术

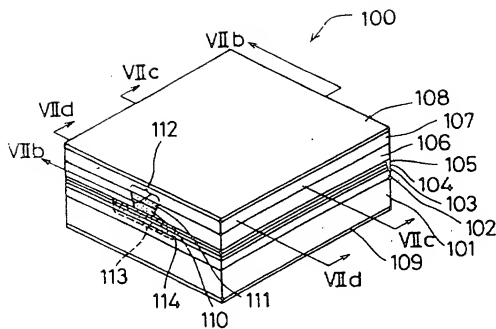


图 7 (b)

现有技术

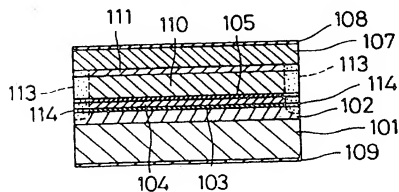


图 7 (c)

现有技术

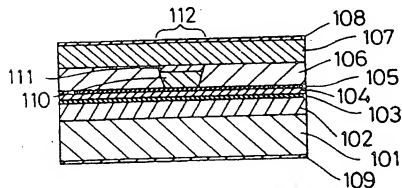


图 7 (d)

现有技术

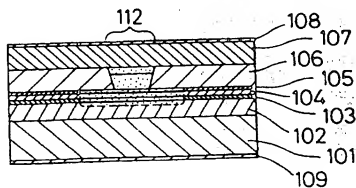


图8 (a)
现有技术

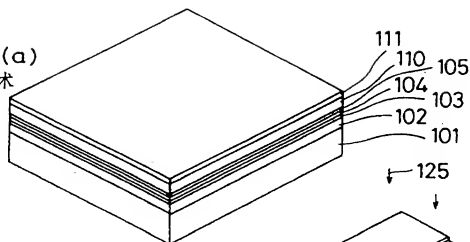


图8 (b)
现有技术

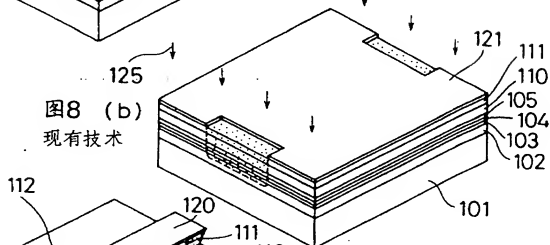


图8 (c)
现有技术

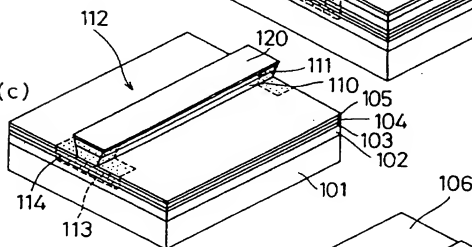


图8 (d)
现有技术

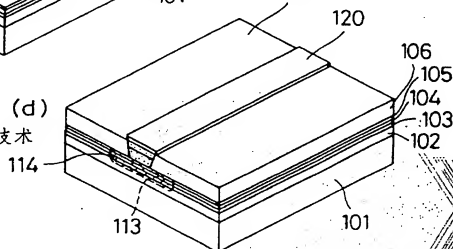


图9 (a)

现有技术

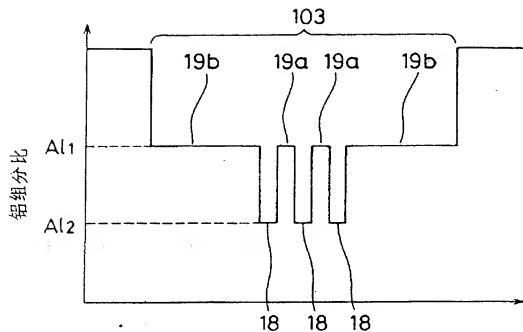


图9 (b)

现有技术

